

基于压实度均匀性的道路路基施工质量控制技术探讨

占正平

湖北交投建设集团有限公司交通工程分公司 湖北 武汉 430000

【摘要】：路基压实度均匀性直接影响道路路基承载能力与使用寿命，当前施工中区域压实差异明显、压实度缺陷损耗路基寿命、施工环节管控不当诱发均匀性不足等问题突出。为破解此类难题，构建了以填料混合改良、分层压实规范执行、压实度无损检测为核心的精准控制技术体系，针对性破解路基边角压实、多样填料适配、施工偏差修正等难点，并明确施工全流程管控要点。实践表明，该技术体系可有效改善路基压实均匀性，减少路基病害，降低后期维修成本，为道路路基施工质量提供可靠保障，推动路基施工向标准化、精细化发展。

【关键词】：路基压实度；均匀性；质量控制；路基施工；无损检测

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.045

引言

路基作为道路工程的核心承重结构，其施工质量直接决定道路整体稳定性与长期通行效能，而压实度均匀性是衡量路基施工质量的核心关键指标。当前公路建设规模持续扩大，复杂地质条件与多样化施工工况对路基压实质量提出更高要求，压实度分布不均引发的路基沉降、开裂等病害频发，严重影响道路使用寿命与通行安全。压实度均匀性不足不仅会降低路基承载能力，还会增加后期维修养护成本，制约道路工程质量提升。因此，深入剖析路基压实度均匀性施工中的突出问题，构建科学高效的控制技术体系，破解施工难点，对推动路基施工精细化、保障道路工程长效稳定具有重要的工程实践意义与应用价值。

1 道路路基压实度均匀性施工质量突出问题

1.1 路基压实度区域差异的直观呈现

路基压实度的区域分化集中体现于不同施工区段、同一区段不同点位的压实成效不均衡，路基表面平整度起伏较大，部分区域伴随明显沉陷、鼓包或松散问题。路基边坡附近受碾压机械作业角度制约、压实强度欠缺，常出现压实不到位情形，表层土体颗粒离散，轻挖即可脱落且无黏结性结构；路基中部及行车道关键区域经多轮碾压后，受填料分布不均影响，部分点位因填料颗粒级配失衡呈现压实过量与不足的两极态势，过量区域土体板结坚硬易产生裂隙，不足区域则质地松软难以满足承载需求^[1]。不同施工区段衔接部位因碾压搭接宽度不足、作业顺序杂乱，易形成压实薄弱区域，外观可见明显高低落差，后续使用中易引发沉降不均、开裂等问题，进而影响路基整体稳固性。不同填料界面过渡带因颗粒交错混杂，压实能量传递受阻，更易形成局部松散薄层。

1.2 压实度缺陷对路基寿命的潜在损耗

压实度缺陷会从内部结构和外部受力两方面对路基寿命产生持续且隐蔽的潜在损耗，压实度不足的区域，路基填料颗粒间空隙较大，整体性和承载力不足，在车辆荷载反复作用下，

空隙会逐渐压缩，导致路基出现不均匀沉降、开裂等病害，裂缝会进一步扩大雨水、地下水的渗透通道，使填料遇水软化、强度骤降，加速路基内部结构的破损老化。过度压实的区域则会导致填料颗粒破碎，失去原有结构强度和抗变形能力，长期承受车辆荷载的反复冲击后，易出现疲劳开裂、结构松散等问题，破坏路基整体稳定性。此类损耗具有明显的累积性，初期病害隐蔽性强、不易被察觉，随着使用时间延长，损耗不断加剧，不仅会大幅缩短路基使用寿命，还会增加后期维修加固的成本，且难以实现彻底根治，影响道路整体通行质量和安全性。

1.3 施工环节诱发均匀性不足的根源所在

路基施工各工序衔接与操作管控不到位，会直接造成压实度分布不均，成为路基整体质量稳定性不足的重要诱因。填料摊铺过程中存在厚度控制偏差，局部区域填料堆积过厚或松散不均，使得碾压作业时受力传递不一致，难以形成均匀密实结构。碾压设备选型与作业参数匹配不合理，碾压速度、遍数及振频调整缺乏统一标准，易出现漏压、欠压或过压现象，路基边角、接缝处压实效果往往弱于中间区域。施工过程中含水率管控缺乏动态监测，填料干湿状态波动较大，过干时颗粒间摩擦阻力增大难以压实，过湿则易出现弹簧土与拥包现象。不同施工班组作业标准执行存在差异，工序交接验收流于形式，未能及时对压实薄弱部位进行补压修整，多重因素叠加致使路基压实度均匀性难以保障，直接影响后期道路承载能力与使用耐久性。

2 路基压实度均匀性精准控制技术体系

2.1 路基填料混合改良的核心方法

路基填料混合改良核心目标为优化填料级配、削减含水率波动、强化压实适配性，需结合填料原生特性选用适配改良工艺。粗粒土填料采用连续级配掺配技术，选取不同粒径区间的碎石与砾石按设计配比混合，剔除超标杂质及针片状颗粒，依托机械搅拌设备实现颗粒匀布，缩减颗粒间隙以强化填料整体密实程度。细粒土及高含水率填料则采用石灰、水泥等固化剂

掺配处理,依据填料天然含水率、液塑限参数确定固化剂掺量,将固化剂粉碎后与填料匀拌,严控拌合深度与频次以保障二者充分接触反应,降低填料亲水性的同时强化其强度与稳固性。混合改良进程中实时监测填料含水率,借助晾晒、洒水等手段将其调控至最佳压实区间,保障后续压实作业中填料受力匀整,为压实度均匀性提供支撑。

2.2 分层压实工艺的规范执行方式

分层压实工艺的规范执行需严格遵循路基填筑厚度标准,结合填料类型与含水率检测结果确定压实机具组合及作业参数,避免超厚填筑或漏压、欠压现象。路基分层摊铺后需及时进行整平处理,确保填料分布均匀、表面平整顺直,为连续压实作业奠定基础^[2]。压实作业按照先边缘后中间、先静压后振压的流程推进,控制碾压速度与重叠宽度,保证各区域压实能量传递一致,减少局部压实差异。不同填筑层之间需进行界面处理,清除松散填料并适度洒水润湿,增强层间黏结效果,防止出现分层滑移或压实断层。针对路基边角、沟槽回填等受限部位,需优化压实机具的选型与组合方式,确保全断面压实效果符合设计要求,通过标准化、精细化的工艺管控,实现分层压实质量的稳定可控,为路基整体压实度均匀性提供可靠支撑。

2.3 压实度无损检测的实操手段

压实度无损检测需结合路基施工各环节特点,采用针对性实操手段确保检测数据精准,为均匀性控制提供可靠依据。实操中以灌砂法和环刀法为核心手段。灌砂法适用于检测路基填筑层的现场密度,检测前需严格标定量砂密度与筒锥体质量,确保测试孔洞规则、深度符合压实层厚度要求,测试过程中避免扰动孔壁周边土体,以保证量砂完全填充空隙,通过计算湿密度与含水率反算现场压实度,重点检测路基边缘、接缝及填料变异区段。环刀法适用于细粒土路基的快速检测,检测时将环刀垂直压入压实层,确保取土位置具有代表性,避免石块或空隙干扰,环刀取出后及时修整两端多余土体,称重后结合室内最大干密度计算压实度。两种方法配合使用,可在不同填料类型与施工阶段实现对压实度均匀性的快速、准确检测,及时发现局部压实不足或过压区域,为压实工艺动态调整提供数据支撑。

3 压实度均匀性控制过程中的难点突破

3.1 路基边角压实难题的破解路径

路基边角区域因受施工空间限制、大型压实设备作业半径不足,易出现压实不到位、压实度偏差过大的问题,成为影响路基整体压实均匀性的关键薄弱环节。针对该问题,需优化边角区域施工工艺,采用小型专用压实设备配合大型设备协同作业,选用小型振动压路机、冲击夯等适配边角空间的设备,对大型压路机无法覆盖的路基边坡、路基与构筑物衔接处等边角

部位进行精准压实^[3]。同时,严格控制边角区域填料的摊铺厚度,相较于路基主体区域适当减薄摊铺层厚,确保填料颗粒均匀分布,避免因摊铺过厚导致压实能量传递不足。此外,优化压实顺序,先对路基主体区域进行初步压实,再重点处理边角区域,通过多次低振幅、高频率的压实作业,逐步提升边角区域压实度,确保其与主体区域压实度保持一致,破解边角压实不充分、不均匀的难题。

3.2 多样填料压实适配的调控思路

多样填料压实适配的调控需立足不同填料的物理力学特性,结合路基施工的实际工况,构建针对性的适配体系。需先对进场各类填料进行系统检测,明确不同填料的颗粒级配、含水量、塑性指数等核心指标,区分黏性土、砂类土、碎石类土等不同类型填料的压实特性差异。针对不同填料的特性优化压实参数,调整压实机械的类型、碾压速度、碾压遍数及碾压顺序,避免单一压实参数适配所有填料导致的压实不均问题。同时,注重填料混合过程的均匀性调控,合理确定不同填料的混合比例,控制混合搅拌的时间和方式,防止填料分层、离析现象发生,确保混合填料整体性能一致,为后续压实作业奠定基础,实现各类填料压实效果的同步达标,保障路基压实度均匀性。施工中应建立填料使用台账,追溯每批次填料的来源、性质及对应压实参数,实现精准匹配。

3.3 施工偏差引发不均的修正举措

针对路基施工过程中机械操作、摊铺厚度、碾压参数等各类施工偏差造成的压实度分布不均问题,可通过精细化管控手段实施动态修正。结合现场地质条件与填料特性,实时调整摊铺机行走速度与松铺厚度,避免因厚度差异导致碾压效果失衡,对局部超厚或欠铺区域及时进行人工补料与刮平处理,确保路基填料均匀分布。优化压路机碾压轨迹与搭接宽度,杜绝漏压、过压及碾压顺序混乱问题,针对边缘、转角等易出现偏差的部位增设补压工序,采用小型压实设备配合作业以消除压实盲区。同步运用无损检测设备对压实效果进行逐点检测,依据检测数据对压实不足区域精准定位并追加碾压,通过动态调整施工参数与局部补强作业,从源头修正施工偏差带来的压实度不均问题,保障路基整体压实质量趋于稳定一致。

4 路基压实度均匀性质量控制实践应用要点

4.1 施工前期均匀性管控的筹备细节

在施工筹备阶段,首要任务是依据《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610-2019),通过现场踏勘与料源调查,建立材料准入“三道关卡”。针对选定的取料场,需按每5000立方米为一批次的频率进行颗粒分析与击实试验,以精确测定填料的_{最大干密度}和_{最佳含水率},优先选用级配良好的砾类土或砂类土。同时,须规划长度不小于200米的试验段,通过25t以上重型振动压路机进行2至4km/h速度下的试轧,记录松铺厚

度与压实遍数,确定最终施工工艺参数。此外,应根据地质补勘结果,对填挖交界处预先开挖宽度不小于2米的向内倾斜台阶,并配备微波含水率测定仪,确保进场填料含水率调控在最佳值±2%的“黄金窗口期”内。

4.2 施工中期均匀性动态监管的核心内容

施工中期压实度均匀性动态监管需贯穿路基填筑全过程,依托实时监测与现场管控实现压实质量的精细化把控。结合不同填料特性与摊铺厚度,严格控制压路机行走速度、碾压遍数及搭接宽度,避免局部漏压、过压导致密实度差异。通过核子密度仪、无核密度仪等设备对路基全断面进行多点位快速检测,重点把控路基边缘、转角及新旧路基衔接部位,及时识别压实薄弱区域^[4]。同步记录碾压参数与检测数据,建立动态管控台账,针对压实度离散性较大区段立即调整施工工艺,优化碾压方案。结合现场高程、平整度数据协同分析,杜绝因填料摊铺不均、含水率波动引发的压实均匀性偏差,确保路基各区域密实度持续满足设计标准,维持整体受力性能的一致性。监管人员需在压实过程中巡视填料表面状况,发现异常及时叫停并排查原因。

4.3 施工后期均匀性验收评价的关键指标

施工后期均匀性验收评价需以压实度离散分布特征为核

心指标,通过多点位分层检测获取路基不同深度、不同横向断面的压实数据,重点分析压实度均值、标准差及变异系数,量化整体均匀程度^[5]。结合道路设计规范设定合格阈值,对局部压实度偏低或波动超标的区域进行精准定位,依托钻芯取样、核子密度仪等检测手段验证实际密实状态。同时将压实均匀性与弯沉值、平整度等指标联动评定,排查因压实不均引发的强度差异、沉降隐患等问题,依据检测数据绘制压实度分布云图,直观反映路基全域密实均衡状况,为后续路面结构施工提供可靠依据,确保验收环节全面反映路基压实质量的真实均匀水平。

5 结语

道路路基压实度均匀性是保障路基承载能力、延长道路使用寿命的核心前提,直接决定道路通行安全与耐久性。解决路基压实度区域差异、缺陷损耗等突出问题,需依托填料改良、分层压实、无损检测构建完善的控制体系,精准破解边角压实、填料适配等施工难点。施工全流程需强化前期筹备、中期动态监管与后期验收评价的精细化管控,将技术规范与实操要点深度融合。唯有实现压实度均匀性的全环节、全方位控制,才能从根源上减少路基病害,降低后期维修成本,为道路工程整体质量筑牢基础,推动公路路基施工向标准化、精细化方向稳步发展。

参考文献:

- [1] 牟谋.公路路基施工技术及路基压实质量控制探析[J].交通科技与管理,2025,6(12):132-134.
- [2] 尚立波,李营.公路路基填筑施工质量控制措施研究[J].中国新技术新产品,2024,(09):96-98.
- [3] 周同邦.路基压实度循环操作施工质量控制方法[J].天津建设科技,2023,33(03):21-23+42.
- [4] 孙义.连续压实控制技术在公路路基施工中的应用[J].交通世界,2022,(10):23-25.
- [5] 王崇武.道路路基路面施工要点和质量控制措施研究[J].工程建设与设计,2021,(12):137-140.